



赵 权, 刘昌敏, 张 余, 等. 减库对荞麦籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(2): 38-42.

## 减库对荞麦籽粒灌浆特性及产量的影响

赵 权<sup>1</sup>, 刘昌敏<sup>1</sup>, 张 余<sup>1</sup>, 宋毓雪<sup>1,2</sup>, 王 雨<sup>1</sup>, 孔德章<sup>1</sup>, 梁成刚<sup>1</sup>, 黄凯丰<sup>1</sup>  
(1 贵州师范大学 荞麦产业技术研究中心, 贵州 贵阳 550001; 2 贵阳护理职业学院, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:**【目的】明确荞麦 *Fagopyrum esculentum* Moench 的源库关系。【方法】以荞麦品种丰甜 1 号为材料, 在开花后 7 d 进行减库处理(剪去未开花朵与花序), 以未处理的作对照, 测定荞麦的主要农艺性状和代谢产物的含量, 并使用 Richards 方程模拟籽粒的灌浆进程。【结果】灌浆中前期减库处理, 荞麦叶片可溶性糖和叶绿素含量与对照差异不显著, 成熟期株高、分枝数、主茎节数与对照差异不显著。减库处理有利于荞麦灌浆中前期籽粒碳水化合物的快速积累, 但成熟期单株粒数和单株粒质量与对照差异不显著, 且产量显著下降。减库处理和对照曲线方程的决定系数  $R^2$  分别为 0.996 和 0.992, 拟合度较好。【结论】Richards 生长曲线能较好地拟合荞麦灌浆进程; 源不足或光合产物分配不合理是限制荞麦产量提高的重要因素, 调控光合产物合成及有效分配是提高甜荞产量的有效途径。

**关键词:** 荞麦; 减库处理; 灌浆特性; Richards 方程; 产量

中图分类号: S517

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2017)02-0038-05

## Effects of sink-limiting treatment on grain filling characteristics and yield of *Fagopyrum esculentum*

ZHAO Quan<sup>1</sup>, LIU Changmin<sup>1</sup>, ZHANG Yu<sup>1</sup>, SONG Yuxue<sup>1,2</sup>,

WANG Yu<sup>1</sup>, KONG Dezhang<sup>1</sup>, LIANG Chenggang<sup>1</sup>, HUANG Kaifeng<sup>1</sup>

(1 Technology Research Center of Buckwheat Industry, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2 Guiyang Nursing Vocational College, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** 【Objective】 To explore the source-sink relationship in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). 【Method】 The common buckwheat cultivar Fengtian 1 was selected as material. Treatment (cutting the unopened flowers and inflorescences) was conducted at the 7th day after flowering, and non-treatment was used as control. The major agronomic characteristics and metabolite contents were measured, and the grain filling process was evaluated with Richards mathematical equation. 【Result】 There was no significant difference in the contents of soluble sugar and chlorophyll between sink-limiting treatment and control during the early-middle grain filling, as well as the plant height, branch number, node number at maturity. The carbohydrate accumulation was accelerated during the early-middle grain filling under sink-limiting treatment. However, there was no significant difference in the grain number per plant and grain weight per plant between sink-limiting treatment and control. Compared with control, the yield of treatment significantly decreased. The determination coefficients ( $R^2$ ) of treatment and control were

收稿日期: 2016-06-07 优先出版时间: 2017-01-10

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170110.1423.012.html>

作者简介: 赵 权 (1983—), 男, 硕士研究生, E-mail: 837114343@qq.com; 通信作者: 黄凯丰 (1979—), 男, 教授, 博士, E-mail: hkf1979@163.com

基金项目: 973 计划前期研究专项 (2014CB160312); 国家自然科学基金 (31360318, 31401315, 31560358); 贵州省普通高等学校荞麦栽培生理及推广特色重点实验室建设项目 (黔教合 KY 字 [2015] 328); 贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金 (黔科合人字 [2013] 03 号); 贵州省科技合作计划项目 (黔科合 LH 字 [2015] 7770 号); 贵州师范大学资助博士科研项目 (0516029)

0.996 and 0.992 respectively, which showed that the Richards growth curve well reflected buckwheat grain filling process. 【Conclusion】The Richards growth curve is suitable for estimating buckwheat grain filling process. The insufficient source or unreasonable distribution of photosynthate is an important limiting factor for buckwheat yield improvement. Adjusting photosynthate synthesis and allocation should be effective to increase buckwheat yield.

**Key words:** *Fagopyrum esculentum*; sink-limiting treatment; grain filling characteristic; Richards' s equation; yield

荞麦(别名:甜荞)*Fagopyrum esculentum* Moench 是蓼科 Polygonaceae 荞麦属 *Fagopyrum* 作物<sup>[1]</sup>。研究表明,荞麦是一种重要的食药兼用杂粮作物,蛋白质和维生素 B1、B2 的含量较高<sup>[1]</sup>。荞麦干粉中含有约 65 mg·kg<sup>-1</sup> 的芦丁,芦丁能够影响胰岛细胞的功能,促进胰岛素的分泌,从而降低血糖;芦丁还可以调节血压,强化血管,对脑溢血、网膜出血等有一定的预防、治疗作用<sup>[2]</sup>。此外,荞麦籽粒中所含有的可溶性膳食纤维约占膳食纤维总量的 20%~30%,可溶性膳食纤维具有降低血清总胆固醇及 LDL 胆固醇含量的作用<sup>[3]</sup>。甜荞是荞麦属植物主要的栽培品种之一,但产量较低,影响了农户对甜荞的种植热情,严重制约了甜荞产业的发展。

源库理论是改良作物株型,提高作物产量的重要理论基础。调控作物源库器官是研究作物源库关系以及产量形成的有效途径<sup>[4-6]</sup>。郝满等<sup>[7]</sup>对玉米进行源库调节的研究发现,源对玉米的生长发育、干物质积累、产量形成有重要影响。周龙祥等<sup>[8]</sup>研究发现,随着疏花数量增多,稻米籽粒中的直链淀粉含量相应增加。陈若礼等<sup>[9]</sup>在研究源与库对小麦产量高低关系时得出,源和库共同制约着小麦产量高低。目前在水稻、玉米和小麦等作物中有关源-库关系的研究报道较多,其调控机制也较为清楚。甜荞具有无限花序特性,源库关系较为复杂,相关研究鲜见报道,其调控机理也不清楚。探索甜荞的源库关系,阐明其源库调控机理,对于荞麦育种与高产栽培技术研究具有重要意义。本试验以高产甜荞品种丰甜 1 号为材料,在灌浆期进行减库(剪花)处理,研究减库处理对丰甜 1 号农艺性状以及产量的影响,并使用 Richards 方程模拟减库处理后籽粒灌浆特性,探索甜荞源库关系,为甜荞的高产栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试验设计

甜荞品种为丰甜 1 号。2015 年 3 月 28 日播种于贵州省贵阳市永乐乡柏杨村试验基地(海拔 908

m)。随机区组设计,开花期选取长势一致、无病虫害的植株进行标记。于开花后 7 d 剪去未开放的花朵及花序,作为减库处理;以未进行减库处理的植株为对照。试验小区面积为 10 m<sup>2</sup> (2 m×5 m),3 次重复。行距为 33 cm,种植密度为 120 万株·hm<sup>-2</sup>。每小区施肥量分别为尿素[w(N)46%]225 g、过磷酸钙[w(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)14%]246.43 g、氯化钾[w(K<sub>2</sub>O)60%]4.25 g,3 种肥料混匀后作为底肥一次性施入。生育期间采用常规大田管理,无明显病虫害发生。

### 1.2 样品制备

减库后第 7 天至籽粒成熟,每 7 d 取样 1 次,每小区选取 10~15 株生长一致的植株进行取样。将植株第 3 至第 4 节节间叶片迅速剪下,置于液氮中冷冻 30 s 后,保存于-80℃冰箱,用于叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白的含量测定。将植株籽粒收集于纸袋中,置于 105℃烘箱中杀青 10 min 后,于 60℃烘干至恒质量,将籽粒脱壳、粉碎、过 100 目筛,用于籽粒淀粉含量测定。

### 1.3 指标测定

1.3.1 农艺性状 成熟期随机选取 10 株进行株高、主茎分枝数、主茎节数、单株粒数、单株粒质量测定;按小区进行收获,测定小区产量。

1.3.2 代谢物质含量的测定 叶绿素含量采用丙酮研磨提取法进行测定<sup>[10]</sup>:称取 0.5 g 样品,使用乙醇丙酮混合液提取,于暗处保存至材料变为白色,然后在 645 和 663 nm 下比色,计算叶绿素含量。可溶性糖含量采用蒽酮比色法进行测定<sup>[10]</sup>:称取 0.2 g 样品,使用 φ 为 80% 乙醇溶液在 80℃进行提取,经活性炭脱色过滤,加入蒽酮试剂后在 620 nm 下比色,根据葡萄糖标准曲线计算样品可溶性糖含量。可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法进行测定<sup>[10]</sup>:称取 0.1 g 样品,使用磷酸缓冲液进行提取,加入考马斯亮蓝溶液后在 595 nm 下比色,根据牛血清蛋白标准曲线计算样品可溶性蛋白含量。总淀粉含量采用蒽酮硫酸比色法进行测定<sup>[11]</sup>:称取 40 mg 样品,使用

$\varphi$  为 80% 乙醇溶液在 80 °C 提取, 除去可溶性糖, 使用高氯酸进行酸化提取, 加入蒽酮试剂后在 620 nm 下比色, 根据葡萄糖标准曲线计算样品可溶性糖含量。籽粒直链淀粉含量采用碘蓝比色法进行测定<sup>[12]</sup>: 称取 100 mg 样品, 经  $\varphi$  为 95% 乙醇溶液和 1 mol · L<sup>-1</sup> NaOH 溶液脱脂、煮沸、冷却后, 加入碘 - 乙酸溶液后在 720 nm 下比色, 根据马铃薯淀粉标准曲线计算样品直链淀粉含量。支链淀粉含量 = 总淀粉含量 - 直链淀粉含量。

#### 1.4 减库后籽粒灌浆进程拟合

参考朱庆森等<sup>[13]</sup>和顾世梁等<sup>[14]</sup>的方法, 使用 Richards 方程对丰甜 1 号籽粒进行灌浆生长拟合。以剪花后天数( $t$ , 剪花当日为 0)为自变量, 以各时期荞麦籽粒百粒质量( $m$ )为应变量, Richards 方程拟合的公式为:

$$m = A / (1 + Be^{-Kt})^{1/N}$$

式中,  $A$  为生长终值量,  $B$  为初值参数,  $K$  为生长速率参数,  $N$  为形状参数。

以决定系数  $R^2$  ( $m$  依  $t$  的回归平方和占总平方和的比率) 表示配合度。Richards 方程生长曲线是由  $N$  值大小决定的一簇曲线, 当  $0 < N < 1$  时, 灌浆速率

达到最大的位置(即曲线拐点)在 0.367 ~ 0.5A 之间, 灌浆速率曲线左偏; 当  $N = 1$  时, 即为 Logistic 方程, 曲线拐点在 0.5A 处; 当  $N > 1$  时, 曲线拐点大于 0.5A, 并随  $N$  的增大而逐渐接近于 A, 灌浆速率曲线右偏<sup>[13-14]</sup>。

#### 1.5 数据分析

采用 Excel 2003、SPSS 17.0 对数据进行相关统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 减库处理对丰甜 1 号叶片生理特性的影响

由表 1 可知, 丰甜 1 号叶片的叶绿素含量在减库后 21 d 前减库处理与对照差异不显著; 随着灌浆进程, 减库后 28 d 叶绿素含量均很低, 但减库处理叶片叶绿素含量显著高于对照。减库后 7 和 21 d, 其叶片叶绿素 a/b 值均显著高于对照, 其余时期差异不显著。减库处理下灌浆期叶片可溶性糖含量变化幅度较小, 且减库处理与对照均无显著差异, 说明减库处理对叶片可溶性糖的合成与积累影响较小。减库处理后 14 d 叶片可溶性蛋白含量与对照差异不显著, 但在 7、21 和 28 d 均显著高于对照。

表 1 减库处理后丰甜 1 号叶片代谢物质含量变化<sup>1)</sup>

Tab. 1 Changes of metabolite contents in leaves of Fengtian 1 after sink-limiting treatment

处理	$w(\text{叶绿素}) / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$				叶绿素 a/b				$w(\text{可溶性糖}) / \%$				$w(\text{可溶性蛋白}) / (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$			
	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d	7 d	14 d	21 d	28 d
减库	1.77a	1.78a	0.65a	0.10a	4.19a	4.06a	3.53a	2.84a	5.65a	5.61a	6.16a	5.56a	4.35a	6.46a	6.58a	6.02a
对照	1.79a	1.84a	0.62a	0.05b	4.02b	4.00a	3.44b	2.89a	5.64a	5.76a	6.12a	5.60a	3.63b	6.54a	6.35b	5.81b

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ( $P > 0.05$ , Duncan's 法)。

### 2.2 减库处理对丰甜 1 号籽粒灌浆过程的影响

由表 2 可见, 减库处理和对照曲线方程的决定系数 ( $R^2$ ) 分别为 0.996 和 0.992, 拟合度较好, 说明 Richards 方程适用于甜荞灌浆进程的模拟。减库处理和对照的  $N$  均小于 1, 灌浆速率曲线左偏; 减库处理和对照的  $A$  都比实际值大, 且减库处理的  $A$  小于对照。减库处理灌浆起始势 ( $R_0$ )、最大灌浆速率 ( $G_{\max}$ ) 以及灌浆速率最大时的生长量与籽粒生长终

值量比值 ( $I$ ) 均大于对照; 减库处理最大灌浆速率的时间 ( $T_{\max}$ )、达到最大灌浆速率时的生长量 ( $m_{\max}$ ) 和灌浆活跃生长期 ( $D$ ) 均小于对照。

丰甜 1 号灌浆前期和后期的灌浆持续时间 ( $t$ ) 减库处理大于对照, 中期则小于对照; 灌浆前期和后期的灌浆平均速率减库处理小于对照, 中期则大于对照; 灌浆期减库处理和对照对粒质量的贡献率均表现为中期 > 后期 > 前期 (表 3)。

表 2 减库处理下丰甜 1 号籽粒灌浆 Richards 方程参数

Tab. 2 Richards equation parameters of grain filling of Fengtian 1 after sink-limiting treatment

处理	$A$	$B$	$K$	$N$	$R^2$	$R_0$	$T_{\max}/\text{d}$	$G_{\max}^{(1)}/(\text{g} \cdot \text{d}^{-1})$	$m_{\max}/\text{g}$	$I/\%$	$D/\text{d}$
减库	3.67	2.283	0.116	0.340	0.996	1.012	16.37	0.135	1.551	42.28	40.21
对照	4.92	0.276	0.069	0.068	0.992	0.342	20.51	0.120	1.870	38.00	50.13

1) 按 100 粒计。

表3 籽粒灌浆阶段的划分<sup>1)</sup>

Tab.3 The division of grain filling stages

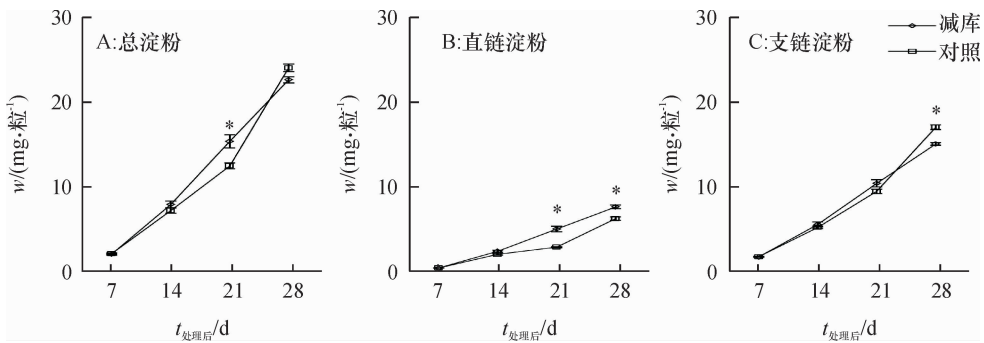
处理	前期			中期			后期		
	t/d	速率/(g·d <sup>-1</sup> )	贡献率/%	t/d	速率/(g·d <sup>-1</sup> )	贡献率/%	t/d	速率/(g·d <sup>-1</sup> )	贡献率/%
减库	6.91	0.067	12.59	18.92	0.117	60.38	30.06	0.032	26.02
对照	6.02	0.069	8.40	28.97	0.104	60.94	17.14	0.057	19.87

1)t:灌浆持续时间;速率:灌浆平均速率,按100粒计;贡献率:对粒质量的贡献率。

2.3 减库处理对丰甜1号籽粒淀粉积累的影响

由图1可知,丰甜1号籽粒中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉积累量都随着灌浆进程逐渐增多;灌浆中前期籽粒淀粉含量以减库处理高于对照,并在减库后21d达到显著差异;灌浆后期,减库处理的籽粒淀粉含量低于对照。支链淀粉和总淀粉含量的变化

趋势相似,在灌浆中前期,减库处理的支链淀粉和总淀粉含量均高于对照,在灌浆后期均低于对照,且在减库后28d处理和对照差异显著。在灌浆中后期,减库处理的直链淀粉含量明显高于对照,并在减库后21和28d均达到显著差异。



\*表示相同时间处理与对照差异显著(P < 0.05, t 检验)。

图1 减库处理下灌浆期丰甜1号淀粉的积累

Fig.1 Changes of starch contents in Fengtian 1 during grain filling after sink-limiting treatment

2.4 减库处理对丰甜1号主要农艺性状的影响

由表4可知,减库处理丰甜1号植株株高、主茎分枝数、主茎节数与对照差异不显著,说明减库处理

并不影响植株的正常生长。同样,减库处理下,丰甜1号的单株粒数及单株粒质量与对照差异不显著,但显著降低了丰甜1号的产量,较对照减产5.59%。

表4 减库处理下丰甜1号的主要农艺性状<sup>1)</sup>

Tab.4 The major agronomic characters of Fengtian 1 after sink-limiting treatment

处理	株高/cm	主茎分枝数	主茎节数	单株粒数	单株粒质量/g	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
减库	56.9a	3.3a	6.8a	49.3a	1.68a	1 192.4b
对照	57.6a	3.3a	7.0a	45.0a	1.75a	1 263.0a

1)同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著(P > 0.05, Duncan's 法)。

3 讨论与结论

王楠等<sup>[15]</sup>研究认为作物产量的形成与库源变化关系密切。灌浆物质的充足与否直接影响产量的高低<sup>[16]</sup>。前人研究表明,叶绿素含量的多少是光合产物合成能力强弱的间接表现<sup>[17-19]</sup>,可溶性蛋白和可溶性糖是籽粒灌浆物质的直接氮源和碳源<sup>[20]</sup>。库容量直接决定作物的产量潜力。减库是研究作物源库关系的重要途径<sup>[21]</sup>。从本研究结果看出,减库处理下叶片叶绿素和可溶性糖含量与对照差异不显著,同时,减库处理下植株农艺性状与对照也无显著差异,说明减库处理并未对源器官造成明显影响。但

是,减库后甜荞产量较对照显著降低,这与钽兴宽等<sup>[22]</sup>在水稻上和陈若礼等<sup>[9]</sup>在小麦上的研究结果一致。钽兴宽等<sup>[22]</sup>研究认为,两系杂交粳稻和常规粳稻在强源的同时应当适当扩库,以提高产量水平,库容量下降不利于产量形成。甜荞具有无限花序特性,库容量较为充足,但是其产量水平一直难以得到突破性的提高。袁继超等<sup>[23]</sup>研究认为源不足会降低光合产物的合成与积累,进而影响产量。本研究发现,减库处理后甜荞的单株粒数并未出现下降,单株粒质量与对照也无显著差异,说明开花7d后甜荞新生花朵的结实率极低,并不能形成饱满种子,这可能与甜荞营养生长期和生殖生长期重叠时间较长,光

合产物不足以及光合产物分配不均有关。

灌浆期是作物产量形成的关键时期, Richards 方程生长曲线是广泛应用于模拟作物灌浆进程的重要工具<sup>[24-25]</sup>。用 Richards 生长曲线对减库处理后丰甜 1 号灌浆过程进行拟合, 拟合度 ( $R^2$ ) 为 0.996, 说明用 Richards 生长曲线能够拟合减库处理后丰甜 1 号籽粒灌浆的连续过程。从本研究结果可以看出, 减库处理和对照籽粒灌浆的  $N$  均小于 1, 生长曲线左偏, 说明其灌浆物质相对充分, 表现为灌浆前期生长迅速, 随后逐渐减弱。籽粒灌浆起始势 ( $R_0$ ) 反映了其子房的生长潜势,  $R_0$  值大, 则胚乳细胞分裂周期短, 分裂快, 籽粒灌浆启动早, 说明开花后较短时间内达到最大灌浆速率。从产量高低来看, 减库处理的产量较低, 其  $R_0$  值较大, 在较短的时间内达到最大灌浆速率, 但灌浆持续时间较短; 对照的产量较高, 其  $R_0$  值较小, 需要较长时间才达到最大灌浆速率, 灌浆持续时间较长。减库后籽粒中总淀粉的积累量在灌浆中、前期高于对照, 在 21 d 时达到显著差异, 但在灌浆后期籽粒淀粉积累量低于对照。减库处理可以避免光合产物向新生花朵输入, 有利于前期种子的灌浆, 但随着灌浆进程, 当种子达到最大灌浆速率时, 生长量 ( $m_{max}$ ) 变低和总灌浆天数 ( $D$ ) 缩短导致总积累量降低, 成熟期单株粒质量与对照无显著差异, 但产量较对照显著下降。甜荞源不足或碳水化合物分配不均导致的种子空瘪率高是限制甜荞产量提高的重要因素。因此, 调控光合产物合成及其有效分配是提高甜荞产量的有效途径。

#### 参考文献:

- [1] 张玲, 高飞虎, 高伦江, 等. 荞麦营养功能及其利用研究进展[J]. 南方农业, 2011, 5(6): 74-77.
- [2] 侯雪梅, 袁仲. 荞麦的营养保健功能与开发利用[J]. 农产品加工(学刊), 2014(1): 73-75.
- [3] 李丹, 丁宵霖. 荞麦生物活性成分的研究进展: 荞麦蛋白质的结构、功能及食品利用(1)[J]. 西部粮油科技, 2000, 25(5): 30-33.
- [4] 王灿. 作物产量与源流库学说[J]. 河北农业科技, 2010(15): 79-79.
- [5] LUXMOORE R J, OREN R, SHERIFF D W, et al. Source-sink-storage relationships of conifers[J]. Res Phy Con, 1995, 6: 179-216.
- [6] GAUDIN R, D'ONOFRIO G. Is the source-sink relationship in transplanted rice receiving deep-placed urea super granules dependent upon the geometry of transplanting? [J]. Paddy Water Environ, 2015, 13(4): 433-442.
- [7] 郝满, 陶攀, 郝琳, 等. 减源缩库对玉米子粒产量及相关性状的影响[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(1): 9-11.
- [8] 周龙祥, 唐设, 刘正辉, 等. 开花期剪叶和疏花对宁粳 1 号和镇稻 88 稻米直链淀粉含量和胶稠度的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(5): 943-949.
- [9] 陈若礼, 张存岭, 张东志, 等. 小麦花后源库改变对籽粒灌浆的影响[J]. 农业科技通讯, 2014(12): 45-48.
- [10] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [11] 何照范, 张迪清. 保健食品化学及其检测技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997.
- [12] 汪连爱. 双光束双波长分光光度计测定稻米中直链淀粉的方法[J]. 粮食与饲料工业, 1999(3): 45-46.
- [13] 朱庆森, 曹显祖, 骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988, 14(3): 182-193.
- [14] 顾世梁, 朱庆森, 杨建昌, 等. 不同水稻材料籽粒灌浆特性的分析[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 7-14.
- [15] 王楠, 谷岩, 陈喜凤, 等. 剪源缩库对玉米籽粒产量形成的影响[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(1): 1-3.
- [16] 陈传永, 王荣焕, 赵久然, 等. 不同生育时期遮光对玉米籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. 作物学报. 2014, 40(9): 1650-1657.
- [17] 杨文钰, 屠乃美. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [18] LICHTENTHALER H K, BABANI F, NAVRATIL M, et al. Chlorophyll fluorescence kinetics, photosynthetic activity, and pigment composition of blue-shade and half-shade leaves as compared to sun and shade leaves of different trees[J]. Photosynth Res, 2013, 117(1/2/3): 355-366.
- [19] HOFFMANN-BENNING S, KENDE H. On the role of abscisic acid and gibberellin in the regulation of growth in rice[J]. J Plant Physiol, 1992, 99(3): 1156-1161.
- [20] 付光玺, 朱伟, 杨露露, 等. 节水灌溉对水稻抗逆生理性状的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 105-108.
- [21] 周海燕, 李国龙, 张少英. 作物源库关系研究进展[J]. 作物杂志, 2007(6): 14-18.
- [22] 钊兴宽, 李国生, 康洪灿, 等. 减源缩库对高原粳稻结实率和千粒重的影响[J]. 作物杂志, 2011(1): 56-59.
- [23] 袁继超, 丁志勇, 俄胜哲, 等. 源库关系对水稻籽粒灌浆特性的影响[J]. 西南农业学报, 2005, 18(1): 15-19.
- [24] 杨沈斌, 江晓东, 王应平, 等. 基于 Richards 扩展方程提取水稻灌浆结实光温特性参数[J]. 作物学报, 2014, 40(10): 1776-1786.
- [25] 徐寿军, 刘志萍, 张凤英, 等. 不同氮肥水平下冬大麦籽粒灌浆特性分析[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 358-363.

【责任编辑 周志红】